

Différenciation conceptuelle : un enseignement d'hydrostatique, fondé sur le développement et la contradiction des conceptions des élèves

P. KARIOTOGLOU, P. KOUMARAS, D. PSILLOS

Aristotle University of Thessaloniki
School of Education
54006 Thessaloniki, Grèce.

(Traduit par J.-L. Closset)

Résumé

Cet article propose une stratégie susceptible de faciliter la différenciation conceptuelle chez des élèves de l'enseignement obligatoire. Cette stratégie est mise en œuvre pour améliorer la différenciation des notions de pression et de force pressante par des élèves dont la connaissance initiale à propos des liquides est dominée par une notion «parente» indifférenciée. Cette notion recouvre des caractéristiques à la fois de la pression et de la force pressante. La stratégie s'appuie sur ce qui, dans la connaissance première des élèves, est compatible avec le modèle scientifique ; elle les conduit à une situation conflictuelle lorsqu'ils ont acquis la compétence nécessaire pour percevoir des contradictions dans leurs explications des faits expérimentaux. Les résultats de l'application de cette stratégie dans l'enseignement secondaire grec sont positifs.

Mots clés : différenciation conceptuelle, pression, force pressante, conceptions des élèves, stratégie d'enseignement.

Abstract

In this paper a strategy is proposed which potentially facilitates conceptual differentiation by compulsory education pupils. The strategy is applied for enhancing differentiation of the notions of pressure and pressing force by pupils whose initial knowledge about liquids is dominated by a «parental» indifferenced notion. This notion includes features of both pressure and pressing force. The strategy builds upon pupils, existing knowledge which is in line with the scientific model and induces them in a conflict situation when the pupils have acquired the necessary knowledge to understand contradictions in their explanation of experimental evidence. Results from the application of the strategy in Greek secondary education pupils are positive.

Key words : *conceptual differentiation, pressure, pressing force, pupils' conceptions, teaching strategy.*

Resumen

Este artículo propone una estrategia susceptible de facilitar la diferenciación conceptual en los alumnos de la enseñanza obligatoria. Esta estrategia es aplicada para mejorar la diferenciación de las nociones de presión et de fuerza de presión por los alumnos donde el conocimiento inicial a propósito de los líquidos es dominado por una noción «parental» indiferenciada. Esta noción recubre a la vez características de presión y de la fuerza de presión. La estrategia se apoya sobre lo que en el conocimiento inicial de los alumnos es compatible con el modelo científico y los conduce a una situación conflictiva cuando ellos han adquirido el conocimiento necesario para percibir las contradicciones en sus explicaciones de los hechos experimentales. Los resultados de la aplicación de esta estrategia en la enseñanza secundaria greca son positivos.

Palabras claves : *presión, fuerza de presión, estrategia de enseñanza, concepciones de los alumnos, diferenciación conceptual.*

1. INTRODUCTION

Il y a relativement peu d'études à propos des conceptions des élèves relatives aux fluides, et plus particulièrement concernant la signification de la pression, de même qu'au sujet d'approches pédagogiques pertinentes (Engel & Driver, 1985 ; Séré, 1985 ; Mayer, 1987 ; Giese, 1987 ; Kariotoglou, 1991). Cependant ce sujet fait partie de nombreux programmes de sciences de l'enseignement primaire et secondaire. Les résultats des recherches laissent penser que beaucoup d'élèves entre 10 et 15 ans ne reconnaissent pas les fluides comme un concept unificateur des liquides et des gaz. Certains voient dans les fluides un quatrième état de la matière, d'autres les identifient aux liquides, tandis que quelques-uns pensent qu'il s'agit de poudres. La plupart des élèves de cet âge établissent une relation correcte

entre pression et force tant qu'il s'agit d'expériences simples et de questions directes, mais ne peuvent répondre correctement lorsqu'il s'agit de comparer des pressions dans des situations plus complexes, comme les pressions au fond d'un récipient large et d'un récipient étroit (Kariotoglou & Psillos, 1993). Certains élèves ne peuvent saisir la transmission de la pression dans les fluides et ceux qui y arrivent ne sont pas capables d'appliquer correctement le principe de Pascal. Enfin, beaucoup d'élèves, bien qu'au fait des facteurs qui influencent la flottaison et connaissant la formule pertinente, ne sont pas capables de l'appliquer lorsqu'il s'agit de traiter les phénomènes correspondants.

En ce qui concerne les conceptions des élèves à propos de la pression dans les liquides, Kariotoglou et Psillos (1993) ont distingué le modèle «foule entassée», le modèle «pression-force» et le modèle «liquide». Les élèves qui utilisent le premier modèle considèrent, implicitement ou explicitement, les liquides comme compressibles, ce qui les conduit à affirmer que la pression dans un récipient étroit contenant de l'eau est supérieure à celle qui existe dans un récipient large rempli au même niveau. Les élèves qui se servent du modèle pression-force confondent pression et force pressante. Ainsi, ils attribuent à la pression les propriétés d'un vecteur et d'une grandeur extensive, ce qui correspond à une force pressante. Enfin, les élèves du modèle liquide attribuent à la pression les propriétés d'une grandeur intensive et d'une variable d'état, vue proche du modèle scientifique. Le premier modèle est en contradiction avec le modèle scientifique et peut être considéré comme très naïf. Par contre, le second modèle, bien qu'incompatible avec le modèle scientifique, est déjà beaucoup plus élaboré.

Après enseignement on constate que plusieurs élèves peuvent fournir des explications plausibles des phénomènes expérimentaux dans les termes du modèle pression-force. De plus, des élèves qui construisent des explications scientifiquement acceptables, retournent au modèle pression-force lorsqu'ils sont mis en présence de problèmes plus complexes. Dans ce contexte nous pensons que, du point de vue de l'enseignement et de l'apprentissage des fluides, une question importante est de savoir quelle stratégie est apte à faciliter le changement conceptuel et le passage à une utilisation judicieuse de la connaissance scientifique chez les élèves utilisant le modèle pression-force. Cet article se centre sur la caractéristique principale de ce changement conceptuel : l'acquisition et l'utilisation correcte de la pression et de la force pressante en tant que concepts séparés, dans l'interprétation par les élèves des phénomènes relatifs aux liquides. Le travail présenté ici fait partie d'un projet de recherche plus important sur la modélisation et l'usage didactique des conceptions des élèves du Gymnasium grec (école secondaire de l'enseignement obligatoire en Grèce), âgés de 13-14 ans, dans le domaine des fluides et de la pression.

De plus amples détails sur ce projet peuvent être obtenus par ailleurs (Kariotoglou et al., 1990, 1993).

2. CONNAISSANCE DES CONCEPTIONS DES ÉLÈVES

Une étape essentielle dans le développement de notre stratégie est l'identification des caractéristiques du modèle pression-force qui sont ou non en accord avec la connaissance scientifique de référence. Pour cela, nous tenons compte de ce que la structure de cette connaissance scientifique est construite à partir de deux concepts différents, mais en relation linéaire, à savoir la pression et la force pressante ($F = P \cdot A$). La nature de ces concepts est mise en évidence par l'analyse épistémologique développée ci-dessous.

Le tableau 1 présente les propriétés essentielles du modèle pression-force, en même temps que celles de la pression et de la force pressante. Oui (O) signifie que la propriété fait partie du modèle et Non (N) qu'elle n'en fait pas partie. Le tableau contient des éléments qui font apparaître à la fois des similitudes et des différences entre le modèle pression-force et le modèle scientifique dans la perspective de cet article. Les propriétés qui correspondent aux similitudes et différences des modèles de la pression utilisés par les élèves ont été présentées ailleurs (Kariotoglou & Psillos, 1993). Nous présentons aussi quelques exemples de réponses des élèves aux différentes questions (figure 1), qui illustrent les caractéristiques du modèle pression-force. Les détails des réactions des élèves ont également été présentés dans Kariotoglou & Psillos (1993).

Propriétés	Modèles PRESSION-FORCE des élèves (1)	Modèle scientifique de la PRESSION (2)	Modèle scientifique de la FORCE PRESSANTE (3)
1. Dépend de la profondeur	O	O	O
2. Dépend du type de fluide	O	O	O
3. Possède une direction	O	N	O
4. Est une grandeur extensive	O	N	O
5. P ou F «sont exercées sur...»	O	N	O
6. Est considérée sur une surface	O	N	O
7. Peut être partagée	O	N	O
8. Le liquide «a» P ou F	O	O	N
9. Est considérée comme une propriété	O	O	N

Tableau 1 : **Modèle pression-force des élèves comparé aux modèles scientifique de la pression et de la force pressante (O = oui – N = non)**

Les élèves qui utilisent le modèle pression-force attribuent à la pression les propriétés d'une grandeur vectorielle («*la pression venant du côté...*») quand ils répondent aux questions 2, 3 et 4 (voir figure 1). Ils considèrent qu'il s'agit d'une grandeur extensive qui peut être divisée comme le montrent les réponses des élèves à la question 1 («*la pression dans le récipient large est plus grande car il contient plus d'eau*»), ou à la question 4 («*la pression sur le plongeur ne rencontrant aucun obstacle au-dessus de lui est plus grande, car elle se répartit sur une plus grande surface*»). Les élèves qui adoptent ce modèle relient la pression à une surface («*la pression exercée sur le fond du grand récipient est plus grande, car le récipient a une surface plus grande*»). Nous voudrions préciser ce point en nous référant à la propriété 6 du tableau 1 : «est considérée sur une surface». Nous avons indiqué O(ui) parce que les élèves utilisent l'expression «est exercée sur le fond» ; par contre pour le concept scientifique de pression nous avons indiqué N(on), car la pression est une fonction de point, ce qui ne signifie pas forcément que la pression ne puisse pas être considérée en un point d'une surface. Enfin nous avons indiqué O(ui) pour le modèle scientifique de la force pressante en ce sens que la force sur une surface est mesurable.

La plupart des propriétés que les élèves attribuent à la pression sont des propriétés du concept scientifique de la force pressante plutôt que de la pression. Néanmoins certaines réponses d'élèves sont assez proches du concept scientifique de la pression comme «*la pression de l'eau...*» ou «*la pression que l'eau a...*» (question 1). Dans ces réponses les élèves semblent considérer la pression comme une propriété du liquide. Par contre, de telles conceptions sont incompatibles avec le concept de force qui est une grandeur d'interaction. D'autres réponses comme «*la pression change parce qu'ici nous avons un liquide différent...*» (question 4a) sont compatibles avec la dépendance de la pression par rapport à la nature du liquide.

Dans le cadre du modèle scientifique, la pression et la force pressante sont toutes deux nécessaires à la prédiction et l'interprétation des phénomènes ; il n'est en effet pas possible de substituer un des concepts à l'autre. Par exemple, des phénomènes mettant en œuvre la transmission de la pression (principe de Pascal) requièrent l'usage du concept de pression, alors que les phénomènes impliquant que quelque chose flotte ou coule nécessitent l'usage de la force d'Archimède, qui est définie comme la résultante de l'ensemble des forces pressantes. Les propriétés des concepts pression et force pressante sont présentées dans les colonnes 2 et 3 du tableau 1. Les caractéristiques distinctives de ces concepts peuvent se classer en deux catégories principales.

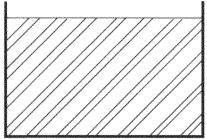
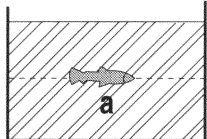
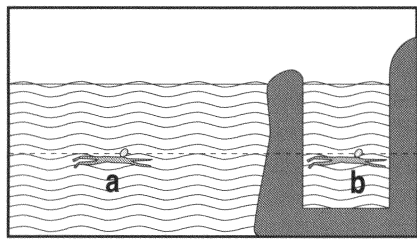
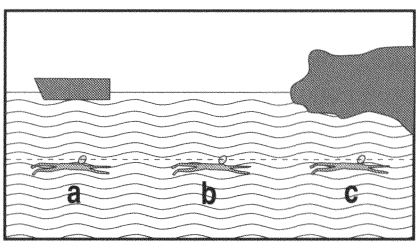


 <p style="text-align: center;">a b</p>	<p>Question 1</p> <p>Compare les pressions en un point du fond des récipients (a) et (b) qui contiennent de l'eau au même niveau, mais sont de largeurs différentes.</p>
 <p style="text-align: center;">a b</p>	<p>Question 2</p> <p>Compare les pressions en un point du dos des poissons (a) et (b) qui nagent au même niveau, dans les mêmes récipients que ceux de la question 1.</p>
 <p style="text-align: center;">a b</p>	<p>Question 3</p> <p>Compare les pressions en un point du dos des plongeurs (a) et (b) nageant au même niveau, dans la mer et dans un puits rempli d'eau de mer.</p>
 <p style="text-align: center;">a b c</p>	<p>Question 4</p> <p>Compare les pressions en un point du dos des plongeurs (a), (b) et (c) nageant au même niveau dans la mer.</p>
 <p style="text-align: center;">eau</p>	<p>Question 4a</p> <p>Compare les pressions en un point du fond des deux récipients semblables (a) et (b) contenant respectivement de l'eau et l'alcool.</p>  <p style="text-align: center;">alcool</p>

Figure 1 : Questions 1, 2, 3, 4, 4a

Tout d'abord, la pression est une grandeur scalaire tandis que la force pressante est une grandeur vectorielle. Ensuite, la pression est une grandeur d'état (elle a une signification et est définie en un point), alors que la force pressante est une grandeur d'interaction (elle s'exerce sur la surface d'un corps). De plus la force pressante est une grandeur additive alors que la pression ne l'est pas (voir annexe). Pour illustrer la signification de l'additivité, considérons le fond de deux récipients cylindriques contenant de l'eau, où les pressions sont respectivement P_1 et P_2 et les forces pressantes F_1 et F_2 . Si l'eau contenue dans les deux récipients est transférée dans un troisième, également cylindrique et de surface au fond arbitraire, la nouvelle force pressante sur le fond sera toujours égale à $F_1 + F_2$, alors que la nouvelle pression au fond ne sera pas nécessairement égale à $P_1 + P_2$.

Les deux premières propriétés dans le tableau 1, communes aux deux modèles, ne permettent pas de distinguer pression et force pressante. Par contre, le fait que la force possède une direction alors que la pression n'en a pas peut être démontré expérimentalement. Si par exemple des petits trous sont pratiqués à la surface d'un sac en plastique plein d'eau, l'eau en sort sous forme de jets dans toutes les directions. À partir de cette observation, un physicien tirerait la conclusion que la pression ne possède pas de direction au contraire de la force. Néanmoins nous pensons que cette déduction nécessite un raisonnement compliqué que les élèves, contrairement aux physiciens, ne sont pas capables de faire.

L'additivité de la force, et à l'opposé la non-additivité de la pression, sont des propriétés qui peuvent être vérifiées expérimentalement (voir annexe). On peut par exemple mesurer les pressions P_1 et P_2 dans deux récipients cylindriques de sections différentes S_1 et S_2 , puis comparer ces pressions avec la pression P_{tot} dans un troisième récipient ayant une section $S_1 + S_2$ et contenant toute l'eau des deux premiers. Une autre expérience consiste à mesurer les forces F_1 et F_2 nécessaires pour détacher du sol deux ventouses, puis à les comparer à la force totale F_{tot} nécessaire pour détacher une troisième ventouse de surface égale à la somme des surfaces des deux autres. Les relations $P_1 + P_2 \neq P_{\text{tot}}$ et $F_1 + F_2 = F_{\text{tot}}$ peuvent ainsi être vérifiées expérimentalement par des mesures quantitatives ou semi-quantitatives. À notre avis, de telles comparaisons directes peuvent être comprises par les élèves et peuvent donc contribuer à la distinction entre pression et force pressante.

Nous pensons que les expressions «a de la pression» et «de la pression est exercée» (propriétés 8 et 5 du tableau 1), n'étant que des éléments linguistiques, ne peuvent contribuer à cette distinction. De plus la propriété 9 du tableau 1 («est considérée comme une propriété») ne peut pas être démontrée expérimentalement. La démonstration du partage des forces, et à l'inverse du non-partage des pressions (propriété 7), peut être

approchée de façon semblable à celle de l'additivité, bien que le raisonnement des élèves est moins bien adapté aux opérations nécessaires de soustraction qu'à celles d'addition. L'analyse ci-dessus montre que l'additivité de la force, et à l'inverse la non-additivité de la pression, est la seule différence entre les propriétés de la pression et de la force qui :

- puisse être établie à partir d'expérience basées sur des mesures,
- possède un caractère de vérification,
- puisse être aisément saisie par les élèves.

3. STRATÉGIE D'ENSEIGNEMENT

3.1. Introduction

À la suite de l'analyse faite ci-dessus du modèle pression-force des élèves et du modèle scientifique, il apparaît que les élèves utilisent une notion «parente» générale pour interpréter les phénomènes hydrostatiques à la place des deux concepts, séparés mais reliés, de pression et de force pressante. L'acquisition de la connaissance scientifique à propos des liquides implique donc un changement dans la connaissance initiale des élèves, qui comprend la désintégration de la notion «parente» de pression-force et le développement de deux notions «filles», la pression et la force pressante. Ces deux concepts et leur interrelation $F = P \cdot A$ devraient permettre aux élèves de prédire correctement, de décrire et d'interpréter les phénomènes relatifs aux fluides comme ceux de la question 7 (voir figure 3), qui ne peuvent être interprétés en termes du modèle pression-force. Un tel processus de changement conceptuel peut être considéré comme une *différenciation conceptuelle* (Wiser, 1985 ; Smith et al., 1985 ; Carey, 1985).

À ce point de l'exposé émerge une question cruciale : quelle est la stratégie d'enseignement appropriée qui peut faciliter cette différenciation ? Nous pensons qu'un aspect important d'une telle stratégie est d'amener les élèves à un stade d'insatisfaction quant à l'usage de leur connaissance initiale (Posner et al., 1982) qui peut les conduire à dévaluer le statut de celle-ci et à faciliter la désintégration de la notion «parente». Comme nous l'avons précédemment mentionné, les deux notions «filles» sont interconnectées ($F = P \cdot A$) et ont des propriétés communes et distinctes (voir tableau 1), parmi lesquelles une seule peut être mise en évidence expérimentalement à partir de mesures : il s'agit de la non-additivité de la pression. Nous suggérons donc de créer un état d'insatisfaction à partir de faits contredisant les idées des élèves, et produits grâce à une situation expérimentale structurée autour de mesures de l'additivité de la force et de la non-additivité de la pression.

L'utilisation de faits expérimentaux susceptibles de créer un conflit cognitif est une technique puissante mais non nécessairement couronnée de succès. Les résultats de recherche laissent penser que, dans certains cas, les élèves ignorent les faits contradictoires dans le but de préserver leur connaissance initiale (Chinn & Brewer, 1993). Des élèves peuvent même ne pas être conscients des contradictions dans leur argumentation, sauf si leur connaissance initiale le leur permet. En conséquence, nous pensons qu'une préparation appropriée des élèves est importante pour qu'ils prennent conscience du conflit et qu'elle dépend des caractéristiques de leur connaissance initiale.

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la notion «parente» de pression-force des élèves n'a que quatre des neuf propriétés du concept scientifique «fille» de pression. Ceci est probablement dû au fait que le concept de force et ses propriétés sont enseignés avant et de façon beaucoup plus importante que la pression, en tout cas dans le programme de science grec. Ceci est peut-être aussi dû au fait que dans la vie quotidienne, le vocable «force» est fréquemment utilisé et est un terme plus puissant que celui de «pression». Ceci nous conduit à la conclusion que la notion «fille» de pression est dévaluée, aux yeux des élèves, c'est-à-dire qu'elle a un statut plus faible et est dominée par le concept de force qui a un statut fort. Dans ces conditions nous pensons qu'un essai de désintégration directe de la notion «parente» ne peut réussir et rendra donc probablement non pertinente la différenciation entre les deux notions «filles». Les élèves continueront alors à utiliser la notion «parente» indifférenciée. Ce risque a déjà été mis en évidence dans la littérature : les maîtres enseignent une connaissance nouvelle, mais les élèves ne se rendent pas compte du conflit qui existe entre leur connaissance initiale et la nouvelle connaissance. De plus, des études récentes insistent sur le fait que la réussite d'un changement conceptuel est tributaire du fait que soit fournie aux élèves une information «d'arrière-plan» adéquate quant aux notions nouvelles (Duit, 1994). Dans notre cas, le statut fort de la notion «fille» de force pressante a été considéré comme satisfaisant. Nous pensons donc que, si l'on veut que les élèves puissent donner du sens à des faits expérimentaux contredisant leurs idées, l'amélioration¹ du concept faible est un prérequis nécessaire. C'est pourquoi nous avons choisi d'améliorer la notion «fille» faible de pression avant de la faire intervenir dans une situation conflictuelle. Les phases de la stratégie d'enseignement qui est proposée pour favoriser la différenciation conceptuelle chez les élèves sont présentées à la figure 2 et analysées ci-dessous.

1 Tout au long de l'article, le terme anglais «*upgrading*», correspondant à une élévation de statut d'une conception, et n'ayant pas d'équivalent exact en français, a été traduit par «amélioration». (NDLR)

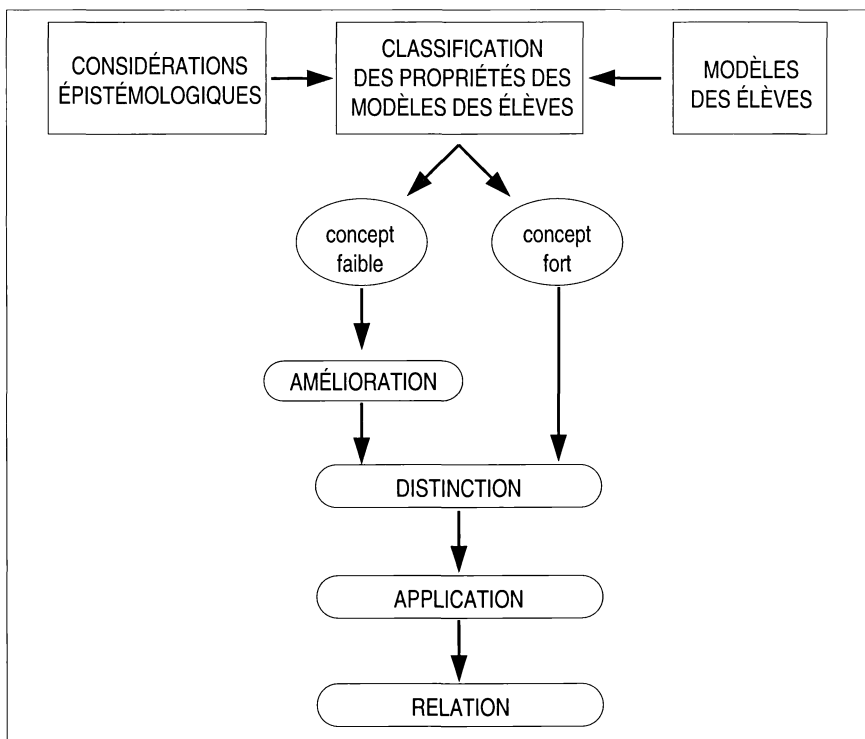


Figure 2 : **Modèle de la stratégie d'enseignement visant une différenciation conceptuelle**

3.2. Amélioration de la notion faible

Dans le but d'isoler le concept de pression de celui de force pressante et par voie de conséquence, d'améliorer la notion faible, les deux décisions suivantes ont été prises.

3.2.1. La façon traditionnelle d'introduire le concept de pression au départ de la formule $P = F/A$ doit être revue. La pression devrait être introduite comme une grandeur physique primaire et de façon expérimentale (AMÉLIORATION, dans la figure 2).

Par primaire, nous entendons que la définition de la pression est basée uniquement sur ses propriétés. Ainsi, le concept de pression n'a pas été introduit en passant par la force. Contrairement à ce qui est fait d'habitude, on a choisi dès le départ de décrire et d'interpréter les phénomènes de la mécanique des fluides à l'aide d'un nouveau concept, celui de pression.

L'usage d'une définition mathématique au travers d'une formule voudrait dire que la pression est définie en relation avec d'autres quantités, c'est-à-dire est une grandeur dérivée. De plus, l'idée a souvent été défendue que la simple mémorisation d'une formule par les élèves n'implique pas nécessairement qu'ils soient capables de lui donner une signification physique. La relation directe $F = P \cdot A$ a été introduite presque à la fin de notre programme (RELATION dans la figure 2), comme une relation entre des grandeurs et pas comme une définition de la pression. Nous soutenons que l'introduction de la pression indépendamment de la force permet d'éviter le renforcement du modèle pression-force et n'amplifie pas le caractère vectoriel et de grandeur extensive que les élèves attribuent à la pression.

Dans cette optique, nous avons fait un effort particulier, au début de notre enseignement, pour inciter les élèves à prédire, décrire et interpréter les phénomènes hydrostatiques en utilisant le concept de pression, en lui donnant la signification décrite plus haut, plutôt que le concept de force ou des notions intuitives. Ceci suppose que les élèves soient impliqués dans des activités expérimentales délibérément choisies pour mettre en œuvre des liquides et des gaz et non des solides. En d'autres termes, le traitement de la pression comme grandeur primaire et son utilisation, en premier lieu, sous forme qualitative (Psillos & Koumaras, 1993) dans le but de décrire et d'interpréter des phénomènes impliquent le choix d'un champ expérimental *ad hoc*.

3.2.2. Les conceptions intuitives qui sont proches du modèle scientifique doivent être renforcées (AMÉLIORATION, dans la figure 2).

Il s'agit de la relation de la pression hydrostatique avec la profondeur ainsi qu'avec la nature du fluide. L'augmentation de la pression avec la profondeur est en accord avec les idées intuitives des élèves. Ainsi, les élèves ont eu, au début, à comparer des pressions à différentes profondeurs. Ensuite ces comparaisons ont été renforcées par des mesures de pression à différentes profondeurs au moyen d'un manomètre. Elles ont été également étendues à différents liquides (McLelland, 1987). Cette vérification expérimentale a augmenté la confiance des élèves dans leurs intuitions correctes. En d'autres termes, ces activités ont aidé les élèves à établir un rapport entre leurs intuitions et des faits expérimentaux vérifiés, ce qui à son tour les a aidés à réaliser que la pression est un concept important pour l'étude des phénomènes hydrostatiques.

3.3. Distinction entre les notions «filles».

Cette phase met en œuvre la séparation entre les propriétés de la pression et de la force pressante à travers un conflit cognitif. Le conflit sera effectif s'il facilite la restructuration des idées des élèves qui comprendront alors les différences clés entre les concepts (DISTINCTION dans la figure 2). Comme il a été mentionné dans l'analyse épistémologique de la connaissance scientifique, l'additivité de la force pressante et la non-additivité de la pression sont des propriétés qui peuvent être démontrées expérimentalement par des mesures. Cependant la propriété de non-additivité d'une grandeur est contre-intuitive. Donc nous considérons que la validation expérimentale de la non-additivité de la pression peut contribuer à créer une situation conflictuelle pour les élèves.

Dans ce but, nous avons conçu une série d'expériences dont l'interprétation contredit les idées des élèves utilisant le modèle pression-force. Dans leur effort pour réconcilier leurs interprétations contradictoires, les élèves ont dû reconnaître que les deux concepts étaient différents. Il est important de noter que, dans notre stratégie, cette phase ne se présente pas au début mais à la fin. Après avoir renforcé le concept faible, nous conduisons les élèves vers une situation conflictuelle qui doit potentiellement les amener à distinguer clairement les propriétés des deux concepts étudiés. Nous devons souligner ici qu'avant la présentation de ces expériences, les élèves avaient réalisé des activités et répondu à des questions qui devaient les amener à traiter de la même manière la pression dans les gaz et dans les liquides (Kariotoglou & Psillos, 1993). Les expériences utilisées pour créer un conflit sont les suivantes :

a) comparaison de la pression en un point au fond d'un récipient étroit et d'un récipient large contenant de l'eau au même niveau (question 1 – les pressions sont mesurées avec un manomètre «ouvert»)

b) comparaison des forces nécessaires pour détacher du sol deux ventouses de différentes dimensions (question 5, voir figure 3)¹

1 Les différentes forces nécessaires pour détacher deux ventouses de surfaces différentes sont estimées. Ces forces ne sont pas directement mesurées, mais senties par les élèves qui font l'expérience. Nous n'utilisons pas de dynamomètres pendant cette expérience de la séquence, parce que les élèves ne pourraient pas clairement lire la force maximum nécessaire pour détacher les ventouses.

	<p>Question 5</p> <p>Compare les forces nécessaires pour détacher les ventouses étroite (a) et large (b).</p>
	<p>Question 6</p> <p>Compare les pressions en un point du fond des deux récipients semblables (a) et (b) contenant respectivement de l'eau à des niveaux différents.</p>
	<p>Question 7</p> <p>Compare les pressions en un point du fond des deux récipients (a) et (b) ayant des sections différentes et contenant la même quantité d'eau.</p>

Figure 3 : Questions 5, 6, et 7.

Les résultats de ces expériences apparaissent comme plausibles aux élèves qui en jugent au travers de leur connaissance enrichie ; en effet, ils affirment que dans la première expérience les pressions sont identiques car l'eau est au même niveau. Dans la seconde expérience ils disent que la force nécessaire pour arracher la ventouse la plus grande est supérieure à celle nécessaire pour décoller la petite. Les élèves doivent ensuite être guidés de façon explicite pour réaliser que ces deux interprétations sont contradictoires du point de vue du modèle pression-force qu'ils possèdent. En effet, si la pression et la force ne représentent qu'un seul concept pour les élèves, le schéma «un récipient plus grand implique une plus grande pression ou force» devrait s'appliquer aux deux cas et pas seulement au cas des ventouses. Une fois cette contradiction discutée avec les élèves, la nouvelle connaissance (à savoir que les deux concepts sont différents mais reliés) est présentée et clarifiée, de sorte qu'elle devienne acceptable pour eux.

3.4. Application de la nouvelle connaissance

Dans le but d'établir l'utilité de la nouvelle connaissance et sa supériorité sur la précédente, deux nouvelles expériences sont proposées aux élèves (questions 6 et 7 de la figure 3). Elles ont été choisies de façon que la nouvelle connaissance permette d'interpréter les deux expériences et que la connaissance initiale ne permette d'interpréter que l'expérience relative à la question 6.

Dans le cas de la question 6 (voir figure 3) les deux connaissances, initiale et nouvelle, conduisent à la réponse correcte car la section des récipients est la même. Ainsi les élèves répondent correctement que les pressions sont égales et que la force exercée sur le fond du récipient (a) est plus grande car le niveau d'eau y est plus élevé. Mais dans le cas de la question 7, où la quantité d'eau dans les deux récipients de sections différentes est identique, les élèves qui raisonnent en termes de leur connaissance initiale (modèle pression-force) répondent à tort que les pressions sont égales, puisque, pour eux, la pression dépend de la quantité de fluide.

3.5. Relation entre pression et force pressante

Elle constitue la phase finale de la stratégie de différenciation et a pour but d'établir la relation entre la pression et la force pressante (RELATION à la figure 2). Les élèves sont amenés à discuter et à interpréter les résultats des expériences relatives aux questions 1 (voir figure 1), 6 et 7 (voir figure 3) en utilisant leur nouvelle connaissance. Dans le cas de l'expérience 6, ils se rendent compte que lorsque la surface est maintenue constante, la force pressante est proportionnelle à la pression. Dans le cas de l'expérience 7, ils réalisent que lorsque la force pressante est maintenue constante (quantités d'eau égales), la pression est inversement proportionnelle à la surface. Finalement, dans le cas de l'expérience 1, ils constatent que lorsque la pression est maintenue constante (mêmes niveaux d'eau), la force pressante est proportionnelle à la surface. Ces trois relations sont alors résumées dans la formule $F = P \cdot A$, que les élèves appliquent alors à la résolution d'exemples numériques simples.

La figure 4 illustre l'application de la séquence d'enseignement visant la désintégration de la notion «parente» en deux notions «filles».

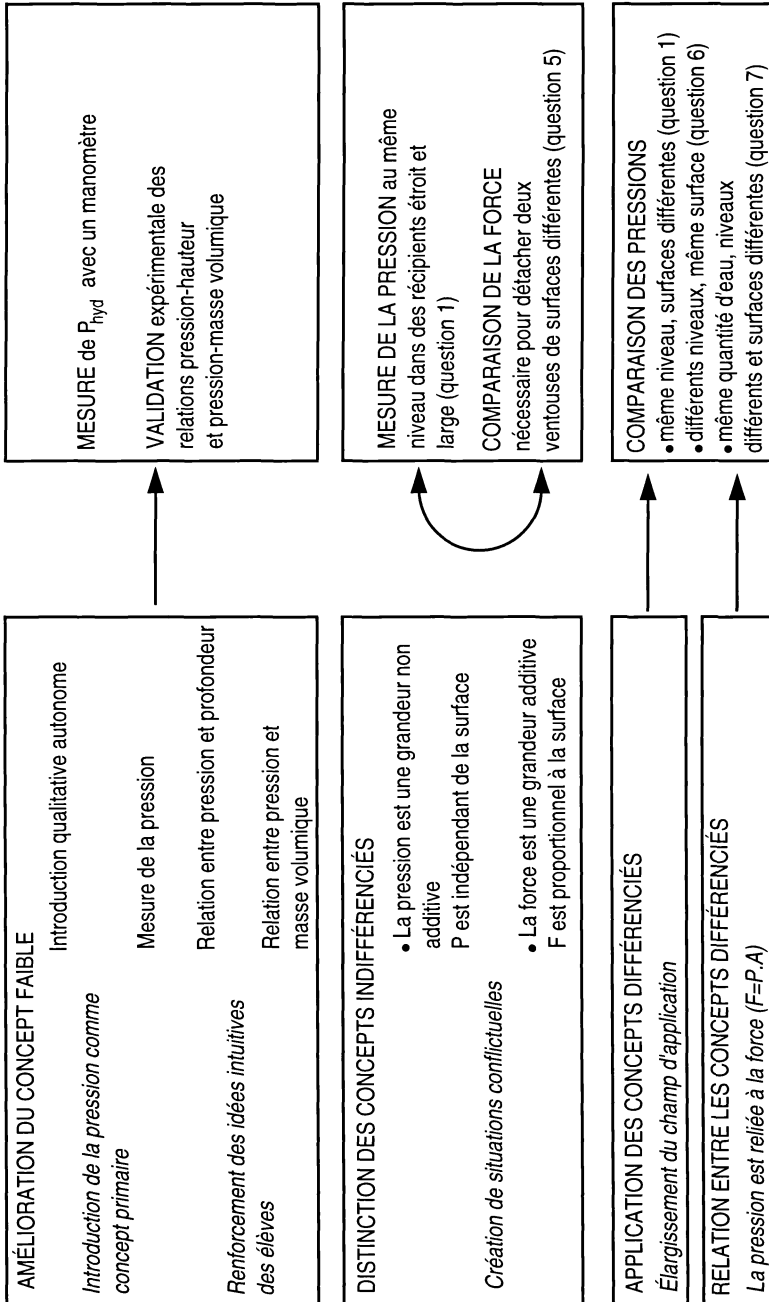


Figure 4 : Application du modèle de stratégie d'enseignement

4. APPLICATION ET RÉSULTATS DE LA STRATÉGIE

Notre stratégie de différenciation entre pression et force pressante fait partie d'un programme constructiviste innovant (seize heures) pour la mécanique des fluides ; elle a été appliquée plusieurs fois dans des groupes expérimentaux de seconde année (13-14 ans) du Gymnasium, qui est l'école secondaire obligatoire en Grèce. Comme cela a déjà été indiqué ailleurs (Kariotoglou et al., 1993), l'étude macroscopique des trois états de la matière et l'introduction des fluides comme catégorie unifiant les liquides et les gaz doit précéder l'introduction de la pression en tant que concept primaire, puisque la pression prend son sens dans le contexte des fluides. Dans ce chapitre nous présentons les parties de l'application de la stratégie en classe relatives à la phase d'amélioration et à la phase de distinction (figure 2). Nous présentons également des résultats quantitatifs concernant la différenciation entre pression et force pressante.

L'application et les résultats dont il est rendu compte dans la présente étude concernent deux classes comprenant en tout 58 élèves. 214 élèves constituaient le groupe contrôle. Ceux-ci provenaient de neuf classes de seconde année du Gymnasium, issues tant du milieu urbain que rural d'un peu partout en Grèce. Tous les groupes étaient composés d'élèves de capacité moyenne, d'après le jugement de leurs enseignants, et avaient reçu une formation dans le domaine de six heures au total à l'école primaire (11-12 ans) ; les sujets qui y avaient été abordés dans le cadre de la mécanique des fluides incluaient l'introduction traditionnelle de la pression ($P = F/A$), la connaissance de ce que les fluides exercent une pression dans toutes les directions, que la pression hydrostatique varie avec la profondeur et dépend du type de liquide, et l'étude de quelques applications hydrostatiques et atmosphériques de la pression.

Les élèves du groupe contrôle ont suivi au Gymnasium le programme national grec sur la mécanique des fluides, au cours duquel la pression est également introduite par la formule $P = F/A$. Le programme comprenait : la loi de l'hydrostatique, le principe d'Archimède, les conditions de flottaison et de non-flottaison, le calcul de la masse volumique, la mesure de la pression atmosphérique et ses applications ainsi que les propriétés des gaz. Au Gymnasium, conformément au programme national, la mécanique des fluides est enseignée après la mécanique classique (du corps solide) qui comprend un enseignement du concept de force à raison d'environ cinq heures, dont la définition de la force (la force est ce qui permet la déformation des objets ou la modification de leur mouvement), le caractère vectoriel de la force, la mesure et la composition des forces.

4.1. Application de la stratégie

Nous présentons ci-dessous quelques extraits choisis de notre séquence d'enseignement, de même que les réactions des élèves illustrant quelques étapes de leur évolution conceptuelle. Nous voudrions mentionner ici notre sentiment, provenant de l'observation de l'enseignement comme des extraits eux-mêmes, que le développement des idées des enfants ne prend pas la forme de changements abrupts, mais plutôt celle d'une transition graduelle à partir de leurs idées intuitives initiales vers d'autres plus compatibles avec le modèle scientifique. Le processus développemental ne doit pas nécessairement exclure le retour de certains élèves vers leurs idées précédentes, avant que finalement ils ne développent des idées plus scientifiques.

4.1.1. Amélioration du concept faible

Une étape importante pour l'amélioration du concept faible (pression) est la validation expérimentale de la dépendance de la pression vis-à-vis de la profondeur et de la nature du fluide, de même que l'introduction de la loi fondamentale de l'hydrostatique $P = \varepsilon \cdot h$. Nous devons signaler ici que la formule complète est en fait soit $P = \varepsilon \cdot h + P_{at}$ (1), soit $\Delta P = \varepsilon \cdot h$ (2). Cependant l'introduction de ΔP aurait été difficile pour des élèves de cet âge (13-14 ans), c'est pourquoi la formule (2) n'a pas été utilisée. Au début nous ne pouvions pas introduire le terme P_{at} dans la formule (1) car les élèves n'avaient pas étudié le principe de Pascal. La pression atmosphérique fut ajoutée à la formule à la fin de la séquence en tant qu'application du principe de Pascal. Voici un extrait d'un dialogue en cours d'enseignement :

E : *Bien, est-ce que tu penses que la pression dans un liquide dépend bien de la profondeur ?*

S₁ : *Plus on va profond, plus la pression augmente.*

S₂ : *Plus on va profond (dans la mer) plus nos oreilles nous font mal.*

S₃ : *Oui si un bateau va vraiment profond, il se casse, comme le Titanic, qui s'est coupé en trois morceaux.*

E : *À part cela, as-tu d'autres arguments à l'appui du fait que la pression dépend de la profondeur ?*

S₄ : *C'est à vous Monsieur de nous dire cela car vous le savez mieux que nous.*

S₅ : *Allons voir dans notre livre.*

E : *Et si le livre ne peut pas nous aider dans de tels cas ?*

S₄ : *Faisons des mesures.*

S₅ : *Expérimentons.*

E : *Que devrions-nous utiliser pour la mesurer (la pression) ?*

S₆ : *Un manomètre.*

E : *Celui que tu utilises pour mesurer la tension de ton grand-père ?*

S₇ : *Non, nous utiliserions celui que nous avons l'autre jour... cette chose ronde (la jauge manométrique).*

(Le maître mesure la pression dans un haut récipient contenant de l'eau au moyen du manomètre).

E : *J'ai fait une mesure à cet endroit, est-ce que c'est suffisant ?*

S₈ : *Oui.*

S₉ : *Non, pas qu'un seul point... cela ne voudrait rien dire, nous avons besoin d'un autre point.*

S₁₀ : *Oui, comment autrement être sûrs qu'elle augmente ou diminue en ne nous servant que d'un point, il nous en faut deux.*

Impliquer des élèves dans des mesures suppose de se servir opérationnellement de leurs idées, et ceci est essentiel pour leur évolution. Les extraits ci-dessus montrent que les élèves considèrent que les mesures contribuent à les assurer de l'exactitude de leur idée intuitive d'augmentation de la pression avec la profondeur. En même temps, il est évident que la mise en œuvre de leur connaissance précédente est bien réelle puisqu'ils demandent pour la mesure de la pression le même appareil que celui qui a été utilisé pour son introduction. Évidemment, la procédure doit devenir plus élaborée, parce que les élèves réalisent bien la nécessité de deux mesures pour confirmer la relation, mais ils ne réalisent pas la nécessité d'en avoir davantage pour permettre un traitement mathématique. À ce stade, le maître démontre la relation entre pression et masse volumique comme l'extrait suivant l'illustre.

E : *Si nous utilisons un autre liquide, par exemple de l'alcool, la pression changera-t-elle à cet endroit ?*

S₁ : *Oui parce que le liquide est différent.*

S₂ : *Plus le liquide a une masse volumique importante, plus il provoque de la pression.*

S₃ : *Parce que cela pèse plus, c'est-à-dire que cela exerce plus de pression sur un centimètre carré qu'un liquide plus léger.*

E : *Finalement, quel est le facteur qui cause un changement de pression ? Peut-être la couleur ?*

S₄ : Non parce que nous pouvons le peindre. C'est plus... lourd... euh... c'est plus dense.

E : Tu veux dire que la masse volumique change, mais comment pouvons-nous le vérifier ?

S₅ : Nous prendrons des mesures pour deux liquides... de l'eau et de l'alcool.

E : À quelle profondeur ?

S₆ : Au fond.

E : Oui, mais quelle quantité de liquide allons-nous utiliser ? N'importe quelle quantité ?

S₇ : Juste comme avant... euh... nous prendrons des mesures à la même profondeur.

Cet extrait aussi montre que les élèves trouvent dans les mesures un moyen de confirmer leurs idées intuitives sur l'influence du type de liquide et de la masse volumique sur la pression. Nous pensons que l'utilisation de mesures contribue à renforcer de beaucoup leur assurance quant à la validité de la relation entre pression, profondeur et type de liquide.

Après des activités comme celles décrites ci-dessus, vient l'introduction de la formule mathématique de la loi fondamentale de l'hydrostatique. L'effort fait pour accroître l'assurance de sa validité est illustré par l'extrait suivant :

E : D'après vous, qu'est-ce que ces expériences nous ont appris ?

S₁ : Nous sommes sûrs maintenant que la pression augmente avec la profondeur.

E : Quoi d'autre ?

S₂ : Et (qu'elle augmente) avec la masse volumique du fluide.

E : Les idées que nous avons confirmées expérimentalement peuvent être résumées par une relation mathématique simple (il écrit $P = \epsilon \cdot h$ au tableau), qui fixe la pression hydrostatique, une fois donnés la profondeur et le poids spécifique du liquide, qui est une grandeur semblable à la masse volumique. Quel est le symbole de la profondeur ?

S₃ : C'est h, comme le symbole de la hauteur.

S₄ : Et ϵ ... est le symbole de la masse volumique.

E : Nous avons dit que ϵ était le symbole du poids spécifique, qui ressemble à la masse volumique. Maintenant, comment pouvons-nous calculer la pression hydrostatique ?

S₅ : En faisant le produit de la profondeur par le poids spécifique.

On donne ensuite aux élèves deux problèmes où on leur demande de comparer des pressions sans utiliser les unités de mesure, étant donné que celles-ci troublent les élèves. Des observations comme celles mentionnées ci-dessus nous ont conduits à la conclusion que les idées des élèves à propos de la pression et de sa dépendance vis-à-vis de la profondeur et du poids spécifique étaient devenues plus précises et que la phase d'amélioration tendait à sa conclusion. Il faut noter ici que nous avons fait usage du poids spécifique en lieu et place de la masse volumique parce que, conformément au programme national grec, la gravité est introduite l'année suivante.

4.1.2. Distinction entre pression et force pressante

Comme signalé ci-dessus, la plupart des élèves répondent correctement aux questions 1 et 5. Pour la question 1 (voir figure 1), ils affirment que les pressions sont les mêmes parce que les hauteurs d'eau sont les mêmes, en accord avec l'enseignement. Ils acceptent également que la grande ventouse soit plus difficile à détacher que la petite, à cause de leurs tailles différentes. Cependant certains élèves insistent sur leurs conceptions initiales (le modèle pression-force), comme S_2 dans l'extrait suivant.

E : *Compare les pressions en un point au fond des récipients (a) et (b).*

S_1 : *Elles sont égales, car nous avons appris que la pression dépend de la profondeur et du type de liquide.*

S_2 : *La pression est plus grande dans le grand récipient, parce qu'il contient plus d'eau.*

E : *Et maintenant ? Comment allons-nous décider ?*

S_3 : *Nous allons mesurer la pression dans les deux récipients.*

(Les mesures sont faites et les élèves observent l'égalité des pressions.)

E : *Que dites-vous maintenant ?*

S_1 : *Comme nous l'avons dit avant, elles sont les mêmes parce qu'elles dépendent de la profondeur.*

S_2 : *Il semble que la quantité d'eau n'a pas d'importance.*

E : *Maintenant prenez ces deux ventouses et fixez-les au sol. Ensuite essayez de les détacher. Qu'observez-vous ? Quelle ventouse nécessite la plus grande force pour la détacher ?*

S_4 : *La plus grande... est la plus dure à détacher.*

E : *Peux-tu l'expliquer ?*

S₅ : Parce que la ventouse est plus grande... nous appliquons une force plus grande.

Il est important de souligner que les élèves qui utilisent le modèle pression-force et qui affirment que les pressions envisagées à la question 1 sont égales, mais que les forces envisagées à la question 5 sont inégales, se trouvent face à une contradiction importante : ces élèves, pour être cohérents, devraient répondre que les pressions et les forces dans les deux questions sont, soit égales, soit plus petites pour la surface plus petite. Ils ne perçoivent pas directement eux-mêmes la contradiction. Ainsi, à ce stade, le rôle du maître, qui doit la rendre explicite, est crucial. Lorsque la contradiction est rendue évidente pour les élèves, il les conduit à un conflit avec leurs idées initiales :

E : Dans le cas des ventouses, vous dites que la force la plus importante doit être exercée sur la ventouse la plus grande, alors que dans le cas des récipients, vous dites que la pression est la même parce que la profondeur est la même. Qu'en pensez-vous ?

S₁ : Cela semble raisonnable, non ?

E : Pour moi ça ne l'est pas parce que certains d'entre vous disent que la pression et la force, c'est la même chose. Je pense que si la pression et la force étaient la même chose, alors elles sont, soit égales dans les deux cas, soit plus importantes pour la plus grande surface dans les deux cas.

S₂ : Vous avez peut-être raison, monsieur...

S₃ : Mais nous les avons mesurées, alors...

S₄ : Je ne sais pas ce qui est arrivé...

E : En effet les comparaisons sont correctes puisque nous avons mesuré. Mais qu'en est-il si la pression et la force pressante sont des choses différentes comme certains d'entre vous le prétendent ?

S₅ : Ah... C'est pour cela que vous nous corrigez lorsqu'on disait «pression», en disant qu'on devrait dire «force».

S₆ : De plus, vous disiez «la pression qui existe» et «la force qui est exercée».

À ce stade, nous estimons que nous avons terminé d'introduire un conflit cognitif chez les élèves et que nous avons créé une insatisfaction face à l'inaptitude de leur connaissance première à interpréter les phénomènes étudiés. La réalisation de ces contradictions facilite la distinction entre les propriétés de la pression et de la force pressante et contribue à la construction de deux concepts séparés.

4.2. Résultats quantitatifs

Les résultats des post tests après enseignement et des tests passés huit mois plus tard (post-post test) pour les groupes expérimentaux et de contrôle sont présentés dans le tableau 2 reprenant les pourcentages de réponses correctes aux questions impliquant la prédiction et l'interprétation de phénomènes nécessitant le concept de pression. Nous communiquons ici les résultats des questions 1, 3, 4 (voir figure 1), 8 et 9 (voir figure 5). Ces questions sont relatives à des comparaisons de pressions dans diverses situations et font partie d'un questionnaire plus important utilisé dans le contexte de notre projet de recherche dans le domaine des fluides.

Nous considérons que les élèves qui ont répondu correctement aux cinq questions ont réussi à différencier les concepts de pression et de force pressante. Ces élèves reconnaissent que la pression est une grandeur non additive (questions 1 et 3) dans différents contextes et dans des situations simples ou complexes (questions 1, 4 et 9). Ils savent aussi que la pression ne possède pas une direction, ce qui est une propriété de la force pressante mais pas de la pression (question 8, voir figure 5).

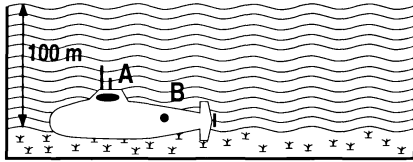
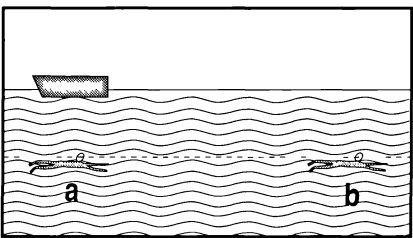
	<p>Question 8</p> <p>Le sous-marin repose sur le fond de la mer à une profondeur de 100m. Au point A au sommet de l'écouille, la pression est de 12 atmosphères. Quelle est la pression au point B de la fenêtre latérale, si l'on considère que les points A et B sont au même niveau ?</p> <p>a) 12 Atm b) 11 Atm c) 6 Atm d) 1 Atm e) 0 Atm</p> <p>Justifier votre réponse.</p>
	<p>Question 9</p> <p>Compare les pressions en un point du dos des plongeurs (a) et (b).</p>

Figure 5 : Questions 8 et 9

Le tableau 2 fournit les pourcentages des élèves répondant correctement aux cinq questions, ainsi que les intervalles de confiance correspondant au seuil de signification $\alpha = 0.05$. Nous rappelons que deux valeurs de pourcentage ont une différence statistiquement significative si leurs intervalles de confiance ne se recouvrent pas. Par exemple, les pourcentages 78.0 ± 10.5 et 40.0 ± 6.8 de la première ligne du tableau 2 diffèrent significativement parce que leurs intervalles respectifs $[67.5, 88.5]$ et $[33.2, 46.8]$ ne se recouvrent pas. À l'inverse, les pourcentages 78.0 ± 10.5 et 65.5 ± 12.0 ne diffèrent pas significativement car leurs intervalles respectifs $[67.5, 88.5]$ et $[53.5, 77.5]$ se recouvrent dans l'intervalle $[67.5, 77.5]$.

Les élèves des groupes expérimentaux ont fourni des réponses correctes aux cinq questions du post test à raison de 60.5% à 83%, alors que les pourcentages correspondants pour les groupes de contrôle se situaient dans la tranche 20%-54%. Pour toutes les questions, la différence entre les groupes expérimentaux et de contrôle est statistiquement significative au niveau $\alpha = 0.05$. De plus, le pourcentage de réponses correctes pour les groupes expérimentaux se maintient à peu de chose près, huit mois après enseignement (post-post test), alors que pour les groupes de contrôle ce pourcentage chute significativement pour quatre des cinq questions. Ces résultats sont résumés au tableau 2.

Question	POST TEST		POST POST TEST	
	Groupe expérimental (N = 58)	Groupe contrôle (N = 214)	Groupe expérimental (N = 58)	Groupe contrôle (N = 214)
1	78.0 \pm 10.5	40.0 \pm 6.8	65.5 \pm 12.0	25.0 \pm 5.8
3	80.5 \pm 10.5	53.0 \pm 6.7	93.0 \pm 6.5	43.5 \pm 6.9
4	60.5 \pm 12.5	20.0 \pm 5.4	62.0 \pm 12.5	0
8	83.0 \pm 9.5	54.0 \pm 6.7	84.5 \pm 9.5	40.0 \pm 6.8
9	71.0 \pm 12.5	38.0 \pm 6.5	68.0 \pm 12.5	15.0 \pm 5.0

Tableau 2 : Pourcentages de réponses correctes aux questions – intervalles de confiance

5. CONCLUSIONS

La différenciation conceptuelle est un problème important dans l'enseignement des sciences puisque, du point de vue de la connaissance scientifique, il apparaît que les élèves analysent une série de phénomènes

physiques en termes de notions indifférenciées comme dans le cas de la chaleur et de la température (Stavy & Berkovitz, 1980 ; Wiser, 1985), du poids et de la masse volumique (Smith et al., 1985) ou de l'électricité (Shipstone, 1985 ; Psillos et al., 1988). Récemment le manque de différenciation conceptuelle a été considéré comme une caractéristique essentielle du raisonnement des élèves à propos des phénomènes physiques (Viennot, 1993). Dans notre cas, le développement conceptuel des élèves a mis en œuvre un changement de leurs vues initiales dans le but d'appréhender la connaissance scientifique à propos des liquides. Les conséquences d'un tel changement ont été la construction des différentes propriétés de deux concepts distincts prenant alors la place d'une notion indifférenciée, l'acquisition de connaissances à propos de la nouvelle relation entre eux, comme c'est le cas de la relation $F = P \cdot A$, ainsi que l'aptitude à interpréter de nouveaux phénomènes à l'aide de ces nouvelles propriétés. Conformément à des propositions récentes, de tels développements mettent en œuvre la restructuration des modèles initiaux des élèves (Vosniadou & Brewer, 1987) qui dans notre cas concernent les liquides.

Il est important de noter que le développement conceptuel des élèves a été progressif tout au long de l'enseignement et a été considérablement facilité, d'abord par l'amélioration de leur connaissance initiale, ensuite par l'utilisation de faits expérimentaux conflictuels lorsque les élèves avaient acquis la connaissance prérequis pour comprendre les contradictions dans leurs interprétations. Nous considérons que la stratégie proposée ici tire avantage à la fois des aspects relatifs au développement et de ceux relatifs au conflit, en ce sens qu'elle se construit à partir des modèles des élèves et les amène à des situations conflictuelles lorsque cela devient nécessaire et que les élèves ont été préparés au conflit cognitif. Une telle stratégie peut fournir une alternative au paradoxe des apprenants : la connaissance nouvelle ne prend du sens pour les apprenants que lorsqu'ils ont déjà quelque information à son sujet (Bereiter, 1985). D'autres recherches sont encore nécessaires pour étudier les possibilités d'application de la stratégie proposée à des notions indifférenciées dans d'autres domaines.

BIBLIOGRAPHIE

- BEREITER C. (1985). Toward a solution of the learning paradox. *Review of Educational Research*, vol. 55, n° 2, pp. 201-226.
- CAREY S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA, MIT Press.
- CHINN C. & BREWER W. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition : A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, vol. 63, n° 1, pp. 1-49.

- DUIT R. (1994). Conceptual change approaches in science education. Paper presented at the *Symposium on conceptual change*. Jena, Germany.
- ELTON L. (1971). *Concepts of Classical Mechanics*. Mac Graw Hill, New York.
- ENGEL-CLOUGH E. & DRIVER R. (1985). What do children understand about pressure in fluids ? *Research in Science and Technological Education*, vol. 3, n° 2, pp. 133-144.
- GIESE P. A. (1987). Misconceptions about water pressure. In *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Cornell University, vol. 1, pp. 142-148.
- HALIDAY D. & RESNICK R. (1978). *Physics*. New York, Wiley.
- HUGHES W.F. & BRIGHTON J.A. (1967). *Theory and Problems of Fluid Dynamics*. New York, Schaum Publishing Co.
- KARIOTOGLOU P., PSILLOS D. & VALASSIADES O. (1990). Understanding Pressure : didactical transpositions and pupils' conceptions. *Physics Education*, vol. 25, n° 2, pp. 92-96.
- KARIOTOGLOU P. (1991). *Teaching and Learning issues on Fluid Mechanics at the Gymnasium level*. Unpublished Ph.D. Thesis, Physics Department, Aristotle University of Thessaloniki (in Greek).
- KARIOTOGLOU P. & PSILLOS D. (1993). Pupils' Pressure Models and their implications for Instruction. *Research in Science and Technological Education*, vol. 11, n° 1, pp. 95-108.
- KARIOTOGLOU P., KOUMARAS P. & PSILLOS D. (1993). A constructivist approach for teaching fluid phenomena. *Physics Education*, n° 28, pp. 164-169.
- MAYER M. (1987). Common sense knowledge versus scientific knowledge. The case of pressure, weight and gravity. In *Proceedings of the 2nd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Cornell University, vol. 1, pp. 299-310.
- McLELLAND J. (1987). Pressure points. *Physics Education*, n° 22, p. 107.
- POSNER G.C., STRIKE K.A., HEWSON P.W. & GERTZOG W.A. (1982). Accommodation of scientific conception : towards a theory of conceptual change. *Science Education*, vol. 66, n° 2, pp. 211-227.
- PSILLOS D., KOUMARAS P. & TIBERGHIEU A. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits. *International Journal of Science Education*, vol. 10, n° 1, pp. 29-43.
- PSILLOS D. & KOUMARAS P. (1993). Multiple Causal Modelling of Electrical Circuits for Enhancing Knowledge Intelligibility. In M.Caillot (Ed.), *Learning Electricity and Electronics with Advanced Educational Technology*, pp. 57-75.
- SÉRÉ M.-G. (1985). *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec le notion de pression, et proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse, Université Paris VI.
- SHIPSTONE D.M. (1985). On childrens' use of conceptual models in reasoning about current electricity. In R. Duit et al. (Eds), *Aspects of Understanding Electricity*. Kiel, IPN, pp. 73-82.
- SMITH C., CAREY S. & WISER M. (1985). On differentiation : A case study of the development of the concepts of size, weight and density. *Cognition*, n° 21, pp. 177-237.
- SOMMERFELD A. (1950). *Mechanics of deformable bodies*. London, Academic Press Inc. Publishers.
- STAVY R. & BERKOVITZ B. (1980). Cognitive Conflict as a basis for Teaching Quantitative Aspects of the concept of Temperature. *Science Education*, vol. 64, n° 5, pp. 679-692.

- VIENNOT L. (1993). Fundamental patterns in common reasoning : examples in Physics. In P. Lijnse (Ed.), *European Research in Science Education, Proceedings of the first Ph.D Summerschool*. Utrecht, Holland, pp. 33-47.
- VOSNIADOUS S. & BREWER W. (1987). Theories of Knowledge Restructuring in Development. *Review of Educational Research*, vol. 57, n° 1, pp. 51-67.
- WISER M. (1985). The differentiation of Heat and Temperature : History of Science and novice-expert shift. In S. Strauss (Ed.), *Ontogeny, Phylogeny and Historical Development*. Norwood, N.J. Ablex, pp. 1-48.

ANNEXE

Quelques commentaires du point de vue de la physique

1. PRESSION HYDROSTATIQUE

La pression hydrostatique est une quantité scalaire, une fonction de point, elle existe en chaque point d'un liquide dans un champ de forces (par exemple le champ gravitationnel).

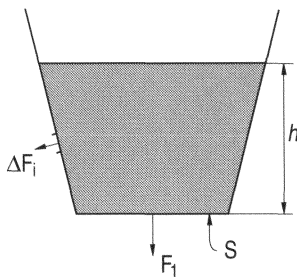
La pression hydrostatique en chaque point d'un liquide au repos dans l'atmosphère est donnée par la formule : $P = P_{\text{atm}} + \varepsilon \cdot h$ (1)

Cette formule résulte du principe de Pascal. C'est la pression mesurée par un manomètre type «fermé» (pression absolue), alors que d'autres types de manomètres «ouverts» (pression relative par rapport à la pression atmosphérique), qui sont **habituellement** utilisés dans les classes, mesurent seulement la composante hydrostatique (pression relative).

Si l'on suppose que P_{atm} est la même en tout point du liquide, la différence de pression entre deux points d'un liquide s'exprime à partir de (1) : $\Delta P = \varepsilon \cdot h$ (2) (Sommerfeld, 1950, p. 41 ; Haliday & Resnick, 1978, p. 371).

2. FORCE PRESSANTE

La force pressante exercée sur le récipient par le liquide qu'il contient est due à la pression hydrostatique ; elle se calcule par addition vectorielle des forces exercées sur les côtés et le fond.



- a) La force sur le fond est égale à : $F_1 = \varepsilon \cdot h \cdot S$
 b) La force sur les côtés se calcule en ajoutant (ou intégrant) les forces élémentaires ΔF_i exercées sur les éléments de surface ΔS_i : $\Delta F_i = \varepsilon \cdot h_i \cdot \Delta S_i$
 Dans ce calcul, nous ne prenons pas en compte les forces sur les côtés et le fond dues à la pression atmosphérique, $F_{\text{atm}} = P_{\text{atm}} \cdot S$, pour la raison suivante : l'ensemble du système (récipient + liquide) est considéré comme étant dans l'atmosphère, ce qui implique que les forces dues à l'atmosphère sont exercées à la fois sur les **faces interne et externe** du récipient et du liquide. Le résultat est que la force totale de l'atmosphère sur le récipient est égale à zéro.

3. ADDITIVITÉ DE LA FORCE PRESSANTE ET NON-ADDITIVITÉ DE LA PRESSION

Considérons deux récipients 1 et 2, contenant de l'eau à des hauteurs h_1 et h_2 .

Les forces pressantes exercées sur le fond et les côtés des récipients sont respectivement F_{b1} , F_{b2} et F_{s1} , F_{s2} , ces dernières étant verticales, comme précisé dans le paragraphe précédent.

Si nous transférons l'eau contenue dans les récipients 1 et 2 dans le récipient 3 (de dimensions arbitraires), l'eau atteindra le niveau h_3 .

On a alors $W_3 = W_1 + W_2$ (3)

W_i étant le poids de la quantité d'eau i .

En utilisant les notations définies ci-avant, nous avons

$$(3) \Rightarrow \quad F_{b3} + F_{s3} = (F_{b1} + F_{s1}) + (F_{b2} + F_{s2})$$

$$F_3 = F_1 + F_2$$

F_i : force totale exercée sur le récipient par la quantité d'eau i

Les forces pressantes sur les récipients sont donc additives.

Si les trois récipients sont cylindriques, les forces pressantes sur les côtés s'éliminent ($F_{si} = 0$), ce qui signifie que dans ce cas la force pressante totale sur le récipient est égale à la force pressante totale sur le fond.

Par ailleurs, les pressions (dues à l'eau) en un point du fond des trois récipients sont respectivement $P_1 = \varepsilon.h_1$, $P_2 = \varepsilon.h_2$, $P_3 = \varepsilon.h_3$. Comme les récipients sont de dimensions arbitraires, on a en général $h_1 + h_2 \neq h_3 \Rightarrow P_1 + P_2 \neq P_3$, où P_i est la pression en un point du fond du récipient i . Ceci montre que les pressions au fond du récipient ne sont pas additives.

C'est ce que nous entendons par additivité des forces pressantes, par opposition à la non-additivité des pressions.